Potenzen, Pegel, Widerstandskennfarben

	.	
	.	
	.	
10^{-3}	=	0,001
10^{-2}	=	0,01
10^{-1}	=	0,1
10^{0}	=	1
10^{1}	=	10
10^{2}	=	100
10^{3}	=	1000
	.	
	.	
	.	

Pegel-änderung	Leistungs-verhältnis	Spannungs-verhältnis
-20dB	0,01	0,1
-10dB	0,1	0,32
-6dB	0,25	0,5
-3dB	0,5	0,71
-1dB	0,8	0,89
0dB	1	1
+1dB	1,26	1,12
+3dB	2	1,41
+6dB	4	2
+10dB	10	3,16
+20dB	100	10

Kenn-farbe	Wert	Multi-plikator	Toleranz
Silber	-	10^{-2}	+/- 10%
Gold	-	10^{-1}	+/- 5%
Schwarz	0	10^{-0}	-
Braun	1	10^{1}	+/- 1%
Rot	2	10^{2}	+/- 2%
Orange	3	10^{3}	-
Gelb	4	10^{4}	-
Grün	5	10^{5}	+/-0,5%
Blau	6	10^{6}	+/-0,25%
Violett	7	10^{7}	+/- 0,1%
Grau	8	10^{8}	-
Weiß	9	10^{9}	-
ohne	-	-	+/- 20%

Wertkennzeichnung durch Buchstaben (Vorsilben)

f	Femto = 10^{-15}	n	Nano = 10^{-9}	m	Milli = 10^{-3}	k	Kilo = 10^{3}	G	Giga = 10^{9}
p	Pico = 10^{-12}	µ	Mikro = 10^{-6}		10^{0}	M	Mega = 10^{6}	T	Tera = 10^{12}

Ohmsches Gesetz $U = I \cdot R$

Leistung $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$

Arbeit $W = P \cdot t$

Widerstand von Drähten $R = \frac{\rho \cdot l}{A_{Dr}}$ $\quad A_{Dr} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$

Widerstände in Reihenschaltung $R_G = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$

Spezialfall - bei 2 Widerständen gilt: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ $\quad U_G = U_1 + U_2$

Widerstände in Parallelschaltung $\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$

Spezialfall - bei 2 Widerständen gilt: $R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ $\quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$ $\quad I_G = I_1 + I_2$

Innenwiderstand $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$

Effektiv- und Spitzenwerte bei sinusförmiger Wechselspannung $\hat{U} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$ $\quad U_{ss} = 2 \cdot \hat{U}$

Periodendauer $T = \frac{1}{f}$

Kreisfrequenz $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

Induktiver Widerstand	$X_L = \omega \cdot L$
Induktivitäten in Reihenschaltung	$L_G = L_1 + L_2 + L_3 + ... + L_n$
Induktivitäten in Parallelschaltung	$\frac{1}{L_G} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + ... + \frac{1}{L_n}$
Induktivität der Ringspule (auch für Zylinderspulen mit l > D)	$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A_S}{l_m}$
Induktivität von Schalenkernspulen (gilt auch für mehrlagige Spulen)	$L = N^2 \cdot A_L$
Magnetische Feldstärke in einer Ringspule	$H = \frac{I \cdot N}{l_m}$
Magnetische Flussdichte	$B_m = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$

Transformator / Übertrager

Übersetzungsverhältnis	$ü = \frac{N_P}{N_S} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_S}}$
Netztrafo	$P_P \approx 1{,}2 \cdot P_S$ $\quad A_{Fe} \approx \sqrt{P_P} \cdot \frac{cm^2}{\sqrt{W}}$ $\quad N_V \approx \frac{42}{A_{Fe}} \cdot \frac{cm^2}{V}$ P_P ... Primärleistung P_S ... Sekundärleistung
Belastbarkeit von Wicklungen	$I = S \cdot A_{Dr}$ mit $S \approx 2{,}5\,A/mm^2$
Kapazitiver Widerstand	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$
Kondensatoren in Reihenschaltung	$\frac{1}{C_G} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... \frac{1}{C_n}$
Kondensatoren in Parallelschaltung	$C_G = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n$
Kapazität eines Kondensators	$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ A ... Kondensatorplattenfläche
Elektrische Feldstärke	$E = \frac{U}{d}$
RC-Tiefpass / RC-Hochpass	$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$
RL-Tiefpass / RL-Hochpass	$f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$

f_g ... Grenzfrequenz (Frequenz am -3dB-Punkt)

Schwingkreis $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ $Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_P}{X_L} = \frac{X_L}{R_S}$

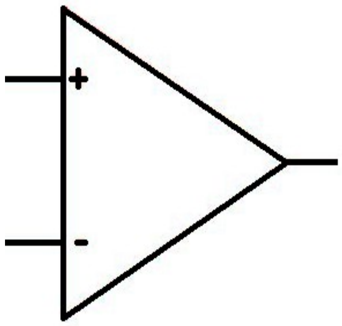
Transistor

für Gleichstrom gilt: $B = \frac{I_C}{I_B}$ $I_E = I_C + I_B$ B … Gleichstromverstärkung

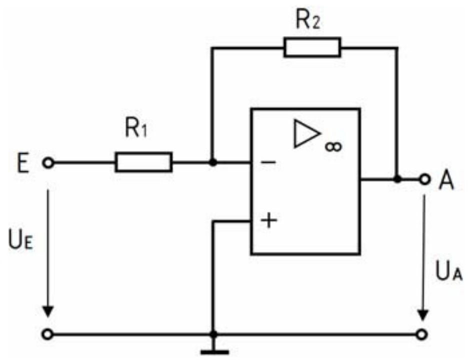
für Wechselstrom gilt: $v_i = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ $v_u = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$ $v_P = v_u \cdot v_i$

Operationsverstärker

das alte Schaltzeichen sieht wie folgt aus:

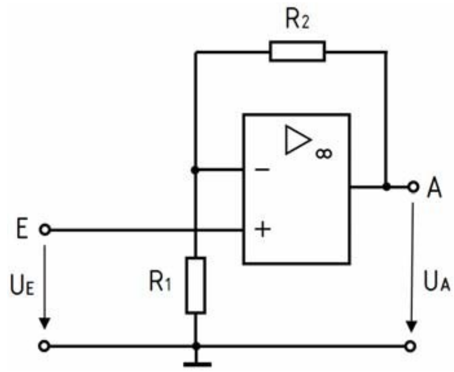


Invertierender Verstärker



$$v_U = -\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1}$$

Nicht-invertierender Verstärker



$$v_U = \frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Pegel $u = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0}$ $p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$

Relativer Pegel: Als Spannungs- oder Leistungspegel bezogen auf beliebige Werte von U_0 oder P_0 (z.B. 1 µV, 1 V, 1 W, 1 pW)
Absoluter Pegel: 0 dB (dBm, dBu) liegt bei P_0 = 1 mW oder der Spannung U_0 = 775 mV bei einem System mit R_i=R_L=600 Ω vor.
Der absolute **Leistungs**pegel ist auch bei Systemen mit anderen Impedanzen gleich.

Dämpfung $a = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2}$ $a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$

Verstärkung / Gewinn $g = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$ $g = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}$

U_1	Eingangsspannung
U_2	Ausgangspannung
P_1	Eingangsleistung
P_2	Ausgangsleistung

Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$ $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100\%$ $P_{ab} = P_{zu} - P_V$

Zwischenfrequenz $f_{ZF} = f_E \pm f_{OSZ}$

Spiegelfrequenz $f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF}$ für $f_{OSZ} > f_E$

$f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF}$ für $f_{OSZ} < f_E$

Thermisches Rauschen

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B \qquad \Delta p_R = 10 \cdot \lg \frac{B1}{B2}$$

$$U_R = 2 \cdot \sqrt{P_R \cdot R}$$

P_R ... Rauschleistung
Δp_R ... Pegelunterschied der Rauschleistungen bei B_1 und B_2

Signal-Rauschverhältnis

$$S/N = 10 \cdot \lg \frac{P_S}{P_N} = 20 \cdot \lg \frac{U_S}{U_N}$$

P_S ... Signalleistung
P_N ... Rauschleistung
U_S ... Signalspannung
U_N ... Rauschspannung

Rauschzahl

$$F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{Eingang}}{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{Ausgang}}$$

$$a_F = 10 \cdot \lg F$$

$$a_F = (S/N)_{Eingang} - (S/N)_{Ausgang}$$

ERP / EIRP

$$p_{ERP} = P_S - a + g_d \qquad P_{ERP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a}{10}}$$

$$p_{EIRP} = p_{ERP} + 2{,}15\,\text{dB} \qquad P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2{,}15\,\text{dB}}{10}}$$

g_d ... Antennengewinn bezogen auf den Halbwellendipol
a ... Verluste (Kabel, Koppler etc.)

Gewinnfaktor von Antennen

$$G_i = G_d \cdot 1{,}64 \qquad g_i = g_d + 2{,}15\,\text{dB} \qquad G = 10^{\frac{g}{10}}$$

Halbwellendipol	$G_i = 1{,}64$	$g_i = 2{,}15\,\text{dBi}$
λ/4-Vertikalantenne	$G_i = 3{,}28$	$g_i = 5{,}15\,\text{dBi}$

Feldstärke im Fernfeld einer Antenne *)

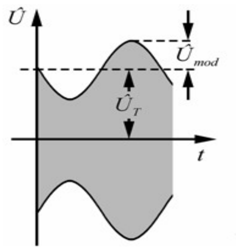
$$E = \frac{\sqrt{30\,\Omega \cdot P_A \cdot G_i}}{d} = \frac{\sqrt{30\,\Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$$

*) für Freiraumausbreitung ab $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$; P_A ... Leistung an der Antenne

Amplitudenmodulation

Modulationsgrad $$m = \frac{\hat{U}_{Mod}}{\hat{U}_T}$$

Bandbreite $$B = 2 \cdot f_{mod\,max}$$



Frequenzmodulation

Modulationsindex $$m = \frac{\Delta f_T}{f_{mod}}$$

Δf_T ... Frequenzhub

Carson-Bandbreite
(Ungefähre FM-Bandbreite)

$$B = 2 \cdot (\Delta f_T + f_{mod\,max})$$

B enthält 99% der Gesamtleistung eines FM-Signales

Phasengeschwindigkeit

$$c = f \cdot \lambda$$

Verkürzungsfaktor von HF-Leitungen

$$k_v = \frac{l_G}{l_E} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{c}{c_0}$$

l_G ... geometrische Länge
l_E ... elektrische Länge

Stehwellenverhältnis /VSWR

$$s=\frac{U_{max}}{U_{min}}=\frac{U_v+U_r}{U_v-U_r} \qquad s=\frac{1+|r|}{1-|r|} \text{ mit } r=\frac{R_2-Z}{R_2+Z}$$

$$s=\frac{R_2}{Z} \text{ wenn } R_2>Z \text{ und } s=\frac{Z}{R_2} \text{ wenn } R_2<Z$$

Reflektionsfaktor $|r|=\frac{s-1}{s+1}=\frac{U_r}{U_v}=\sqrt{\frac{P_r}{P_v}}$

Rücklaufende Leistung $P_r=P_v\cdot r^2$ mit $P_r\neq P_v$

An R2 abgegebene Leistung $P_{ab}=P_v\cdot(1-r^2)$

Dämpfung durch Fehlanpassung $a_s=-10\cdot\lg\ (1-r^2)$

U_v	Spannung der hinlaufenden Welle	U_r	Spannung der rücklaufenden Welle
Z	Wellenwiderstand der HF-Leitung	R_2	reeller Abschlusswiderstand der HF-Leitung
P_v	vorlaufende Leistung	P_r	rücklaufende (reflektierte) Leistung
P_{ab}	Leistung an R2		

Wellenwiderstand

HF-Leitungen $Z=\sqrt{\frac{L'}{C'}}$

Koaxiale Leitungen $Z=\frac{60\ \Omega}{\sqrt{\varepsilon_r}}\cdot\ln\ \frac{D}{d}$

D ... Innendurchmesser Außenleiter
d ... Außendurchmesser Innenleiter

Symmetrische Zweidrahtleitungen mit a/d > 2,5 $Z=\frac{120\ \Omega}{\sqrt{\varepsilon_r}}\cdot\ln\ \frac{2\cdot a}{d}$

a ... Mittenabstand der Leiter
d ... Durchmesser der Leiter

Viertelwellentransformator $Z=\sqrt{Z_E\cdot Z_A}$

Z ... erforderlicher Wellenwiderstand einer λ/4-Transformationsleitung

Höchste brauchbare Frequenz $MUF=\frac{f_c}{\sin\alpha}$ $\qquad f_{opt}=MUF\cdot 0{,}85$

Empfindlichkeit von Messsystemen $E_{Mess}=\frac{R_i}{U_i}=\frac{1}{I_i}$

E_{mess} ... Empfindlichkeit in Ω / V
U_i ... Spannung am System bei Vollausschlag
I_i ... Strom durch das System bei Vollausschlag

Messbereichserweiterung

Spannungsmesser $R_v=\frac{U-U_M}{I_M}=\frac{U_M}{I_M}\cdot(n-1)=R_M\cdot(n-1)$

Strommesser $R_P=\frac{R_M\cdot I_M}{I-I_M}=\frac{R_M}{n-1}$

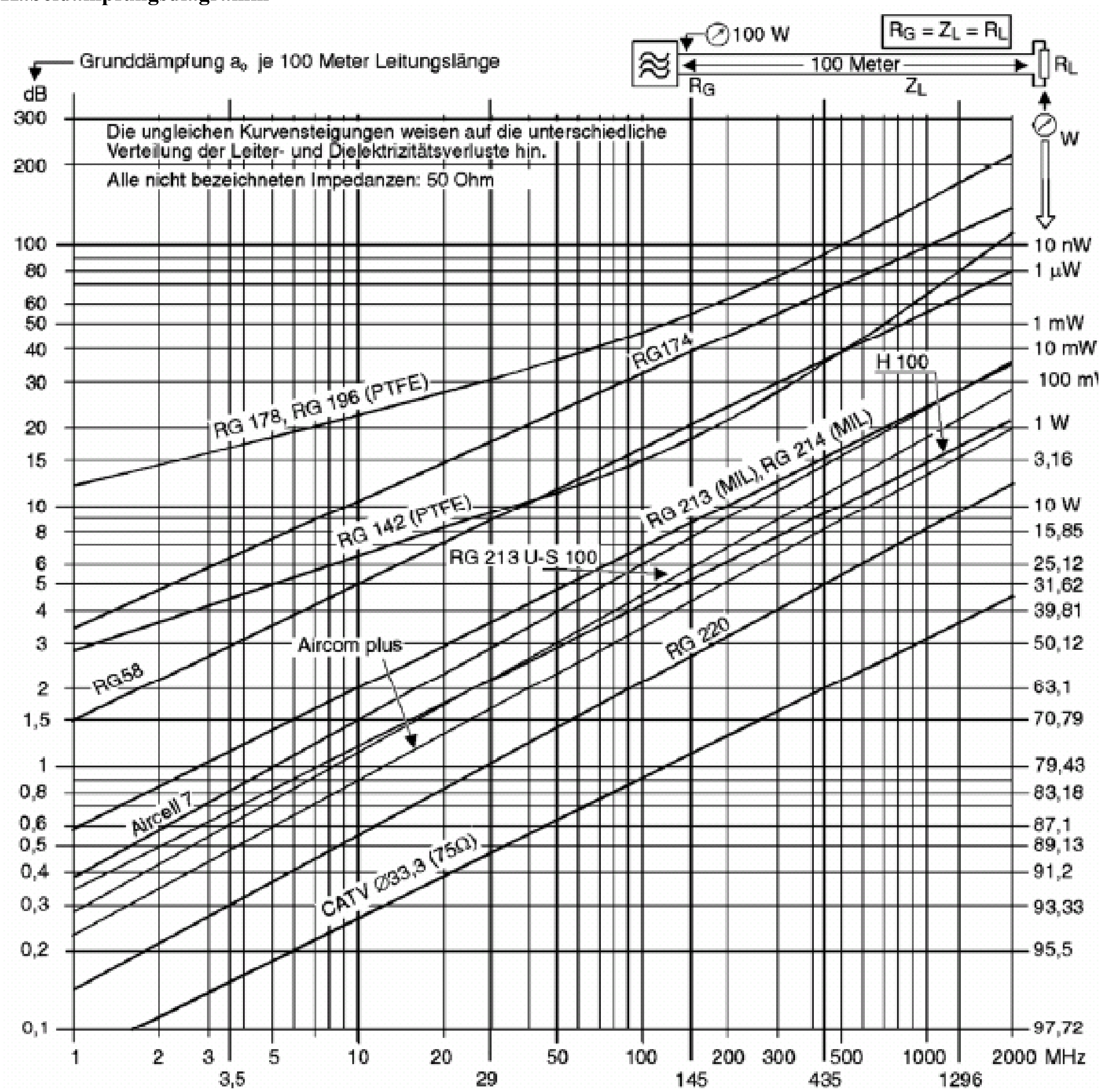
n ...	Erweiterungsfakor
U ...	neuer Spannungsmessbereich
U_M ...	Spannungsmessbereich des Instrumentes
I ...	neuer Strommessbereich
I_M ...	Strom bei Vollausschlag des Instrumentes
R_V ...	Vorwiderstand
R_P ...	Parallelwiderstand (Shunt)

Relativer maximaler Fehler

$$F_w = \pm \frac{G}{100} \cdot \frac{W_E}{W_M}$$

F_W	relativer maximaler Fehler in %	G	Genauigkeitsklasse des Messinstrumentes
W_E	Endwert des Messbereiches	W_M	abgelesener Wert (Istwert)

Kabeldämpfungsdiagramm



Grunddämpfung verschiedener gebräuchlicher Koaxleitungen in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz für eine Länge von 100m.

Formelzeichen, Konstanten und Tabellen

Sofern bei der jeweiligen Formel nicht anders angegeben, gilt:

A Querschnitt, Fläche
A_{Dr} Drahtquerschnitt
A_{Fe} Eisenkernquerschnitt
A_L Induktivitätsfaktor in nH
A_S Querschnittsfläche der Spule

a Dämpfungsmaß in dB
a_F Rauschzahl in dB gemessen mit Eingangsabschluß bei 290 K
B, B_1, B_2 Bandbreiten
B_m magnetische Flussdichte

C Kapazität
C' Kapazitätsbelag (Kapazität pro Meter)
C_G Gesamtkapazität
C_1, C_2, C_3, C_n Teilkapazitäten

c Phasengeschwindigkeit
c_0 Vakuumlichtgeschwindigkeit

$$c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

d Abstand, Entfernung, Durchmesser

E Elektrische Feldstärke
EIRP äquivalente isotrope Strahlungsleistung
ERP äquivalente (effektive) Strahlungsleistung
e Eulersche Zahl, e = 2,718...

F Rauschzahl (Eingangsabschluß bei 290 K)

f Frequenz
f_c Höchste Frequenz, bei der senkrecht in die Ionosphäre eintretende Strahlung von der gegebenen Schicht noch reflektiert wird
f_E eingestellte Empfangsfrequenz
f_g Grenzfrequenz
f_{mod} Modulationsfrequenz
f_{modmax} höchste Modulationsfrequenz
f_{opt} optimale Frequenz
f_{OSZ} Oszillatorfrequenz
f_S Spiegelfrequenz
f_{ZF} Zwischenfrequenz
f_0 Resonanzfrequenz

G Gewinnfaktor
G_d Gewinnfaktor bezogen auf den Halbwellendipol
G_i Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler

R_p paralleler Verlustwiderstand

g Verstärkungsmaß / Gewinn in dB
g_d Gewinn in dB bezogen auf den Halbwellendipol
g_i Gewinn in dB bezogen auf den den isotropen Strahler

H magnetische Feldstärke

I Stromstärke
I_B Basisgleichstrom
I_C Kollektorgleichstrom
I_E Emittergleichstrom
I_G Gesamtstrom
I_P Primärstrom
I_S Sekundärstrom
I_1, I_2 Teilströme
k Boltzmann-Konstante

$$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ Ws/K$$

k_V Verkürzungsfaktor

L Induktivität
L' Induktivitätsbelag (Induktivität pro Meter)
L_G Gesamtinduktivität
L_1, L_2, L_3, L_n Teilinduktivitäten

l Länge
l_m mittlere Feldlinienlänge

MUF Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung

m Modulationsindex

N Windungszahl
N_P Primärwindungszahl
N_S Sekundärwindungszahl
N_V Windungszahl pro Volt

P Leistung
P_R Rauschleistung
P_S, P_{ERP}, P_{EIRP} Sender- / Strahlungsleistungen
P_V Verlustleistung
P_{ab} abgegebene Leistung
P_{zu} zugeführte Leistung

p Pegel der Leistung in dB...
p_S, p_{ERP}, p_{EIRP} Pegel der Sender-/ Strahlungsleistungen in dBm

Q Güte

R Widerstand
R_G Gesamtwiderstand
R_i Innenwiderstand
R_1, R_2, R_3, R_n Teilwiderstände

R_S serieller Verlustwiderstand

r Reflexionsfaktor

S Stromdichte
S/N Signal-Rauschabstand in dB, auch als SNR oder $\frac{S+N}{N}$ bezeichnet

s Stehwellenverhältnis oder Welligkeit

T Periodendauer
T_K Temperatur in Kelvin bezogen auf den absoluten Nullpunkt T_0 (T_0 = 0K = -273,15°C, d.h. 20°C ~ 293 K)
t Zeit

U Spannung
U_{eff} Effektivspannung
U_G Gesamtspannung
U_P Primärspannung
U_R effektive Rauschspannung an R
U_S Sekundärspannung
U_{SS} Spannung von Spitze zu Spitze
U_1, U_2 Teilspannungen
$\hat{U}$ Spitzenspannung
U_{mod} Amplitude der Modulationsspannung
U_T Amplitude der HF-Trägerspannung

u Pegel der Spannung in dB
ü Übersetzungsverhältnis

VSWR Stehwellenverhältnis oder Welligkeit

v_i Wechselstromverstärkung
v_U Wechselspannungsverstärkung
v_P Leistungsverstärkung für Wechselstrom
W Arbeit

X_C kapazitiver Blindwiderstand
X_L induktiver Blindwiderstand

Z Wellenwiderstand
Z_A Ausgangsscheinwiderstand
Z_E Eingangsscheinwiderstand
Z_{F0} Feldwellenwiderstand des freien Raumes

$$Z_{F0}=\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}=120\cdot\pi\cdot\Omega$$

Z_P Primärer Scheinwiderstand
Z_S Sekundärer Scheinwiderstand

ΔI Stromänderung
ΔI_B Basisstromänderung
ΔI_C Kollektorstromänderung
ΔU Spannungsänderung
ΔU_{CE} Kollektor-Emitter-Spannungsänderung
ΔU_{BE} Basis-Emitter-Spannungsänderung

α Abstrahlwinkel der Antenne
β Wechselstromverstärkung
ε_0 elektrische Feldkonstante

$$\varepsilon_0=\frac{1}{\mu_0\cdot c_0^2}=0{,}885\,10^{-11}\,\frac{As}{Vm}$$

ε_r relative Dielektrizitätszahl (siehe Tabelle 2)

η Wirkungsgrad
$\eta_{\%}$ Wirkungsgrad in Prozent
λ Wellenlänge
μ_0 magnetische Feldkonstante

$$\mu_0=\frac{4\cdot\pi}{10^7}\cdot\frac{Vs}{Am}=1{,}2566\cdot10^{-6}\,\frac{H}{m}$$

μ_r relative Permeabilität
ρ spezifischer elektrischer Widerstand (siehe Tabelle 1)
ω Kreisfrequenz

Tabelle 1: Spezifischer elektrischer Widerstand ρ

Material	Kupfer	Aluminium	Eisen
ρ in $\frac{\Omega\cdot mm^2}{m}$ bei 20° C	0,0178	0,030	0,17

Tabelle 2: Relative Dielektrizitätszahl ε_r

Dielektrikum / Isolierstoff	Luft (trocken)	Voll-PE Polyäthylen)	Schaum-PE	PTFE (Teflon)
ε_r	1,00059	2,29	1,5	2,0

